

4. Правила технологического проектирования атомных станций (с реакторами ВВЭР) [Текст] : РД 210.006-90. – М. : Минатом Э и пром. СССР, 1990.
5. Шеренков, И.А. Результаты натурных и модельных исследований водохранилищ-охладителей Луганской ГРЭС [Текст] : Труды коор. совещ. по гидротехнике, вып. 32. “Модельные и натурные исследования водохранилищ-охладителей” / И.А. Шеренков, А.И. Семьян ; ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – Л. : Энергия, 1967. – С. 235 – 245.
6. Методические рекомендации к расчету водохранилищ-охладителей ТЭС [Текст] / П 33-75. – Л. : ВНИИГ, 1976. – 54 с.
7. Кафтаникова, О.Г. Проблемы гидробиологии и альнологии [Текст]. Итоги изучения влияния сбросных подогретых вод теплоэлектростанций на биологический режим их водоемов-охладителей (в пределах Украины) / О.Г. Кафтаникова. – К. : Наукова думка, 1978. – С. 198 – 212.
8. Jirka G.H., Watanabe B., Octavio C.F., Harleman D.R.F. Mathematikal predictive models for cooling ponds and lakes. Part A: Model development and design consideration. Ralph M. Parsons Lab. For Water Res. And Hydrodyn – Rep. №238, MIT, Cambridge, 1978. – 109 p.
9. Макаров, И.И. Моделирование гидротермических процессов водохранилищ-охладителей ТЭС и АЭС [Текст] / И.И. Макаров, А.С. Соколов, С.Г. Шульман. – Л. : Энергоиздат, 1986.
10. Забабурин, И.А. Регулирование потоков у водозаборных сооружений [Текст] / И.А. Забабурин. – Х. : Высшая школа, 1982. – 144 с.

В роботі запропоновано використання нового методу побудови високоякісної системи автоматичного регулювання в системах кондиціювання та вентиляції повітря. Метод полягає у використанні адаптивного нечіткого регулятора

Ключові слова: адаптивний нечіткий регулятор, САР кондиціювання та вентиляції повітря

В работе предложено использование нового метода построения высококачественной системы автоматического регулирования в системах кондиционирования и вентиляции воздуха. В системе используется адаптивный нечеткий регулятор

Ключевые слова: адаптивный нечеткий регулятор, САР кондиционирования и вентиляции воздуха

A new method of high-class system structure of automatic control of air conditioning and ventilation systems is offered in this project. The controller with adaptive fuzzy logic is used in this system

Keywords: controller with adaptive fuzzy logic, control system of air conditioning and ventilation systems

УДК 621.311:681.5

АДАПТИВНЕ НЕЧІТКЕ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦІЮВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ

А.П. Мовчан

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: 050-382-76-96

Е.М. Голуб*

Контактний тел.: 096-136-84-52
E-mail: eduard.golub@gmail.com

*Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

1. Постановка задачі

Дослідження, про які піде річ в статті, відносяться до області енергозберігаючих технологій і обладнання. На сьогоднішній день економія енергоресурсів і підвищення ефективності виробництва є одним із найприоритетніших напрямків розвитку. Вирішенню цієї проблеми в значній мірі допомагає підвищення якості регулювання технологічних процесів в реальних умовах експлуатації.

Технологічні об'єкти регулювання характеризуються значними зв'язками між окремими елементами, великою кількістю зовнішніх і внутрішніх

збурень, частина з яких недоступна для контролю, і високими вимогами до величини припустимих відхилень параметрів від заданих значень. Значна частина відмов роботи технологічного обладнання пов'язана з приладами контролю, системами захисту і регулювання. Основна доля відмов автоматичних систем регулювання (АСР) пов'язана з погіршенням якості регулювання через зміну параметрів у системі. Тому необхідні нові підходи при проектуванні цих систем. Одним з найефективніших засобів підвищення стійкості роботи та якості регулювання автоматичних систем є використання адаптивних регуляторів.

2. Об'єкт управління та проблеми управління ним

Системи вентиляції та кондиціювання (СКВ) призначені для створення заданих технологічних (нормативних) параметрів повітряного середовища (мікроклімату) в приміщенні. До таких параметрів відносять температуру, вологість, тиск, склад газів і запахів, кратність повітрообміну (повна зміна об'єму повітря за заданий проміжок часу).

Системи вентиляції та кондиціювання повітря являються одними із самих енергоємних систем інженерного обладнання будівель та споруд. Енергетичні затрати на кондиціювання складають 30-50% від вартості експлуатації будівель. Тому проблема енергозбереження являється однією з самих важливих задач ефективності використання енергії в процесах кондиціювання повітря.

Ефективність роботи СКВ можливо значно збільшити, використовуючи математичне моделювання теплової поведінки споруди, здійснити оптимальне управління системами кондиціювання повітря, основане на використанні параметрів повітряного середовища за методами оптимальних режимів і застосуванням адаптивних алгоритмів управління.

Отримати математичну модель експериментальним шляхом, яка з високою точністю описувала б роботу об'єкта управління, через нестаціонарності збурень і формалізацію втручання обслуговуючого персоналу доволі складно. В системах автоматичного регулювання процесу кондиціювання постійна часу та коефіцієнт підсилення змінюються в 2-3 рази, тому в подібних системах управління використовують адаптивні регулятори.

3. Запропонована система автоматичного управління

В даній роботі запропонований адаптивний нечіткий регулятор. База правил та блок логічного виводу дозволяють зменшити перерегулювання та час встановлення перехідного процесу.

Нечітке управління (управління на основі методів теорії нечітких множин) використовується при недостатньому знанні об'єкта управління, але наявності досвіду управління ним, в нелінійних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка, а також в випадках, коли за умовою задачі необхідно використовувати знання експерта. Прикладом може бути доменна піч чи ректифікаційна колона, математична модель яких містить багато емпіричних коефіцієнтів, які змінюються в широкому діапазоні і викликають складність при ідентифікації. В той

же час кваліфікаційний оператор достатньо добре управляє такими об'єктами, використовуючи показання приладів і накопичених досвідом знань.

Регулятори з нечіткою логікою в наш час використовуються в комерційних системах для наведення телекамер при трансляції спортивних подій, в системах кондиціювання повітря, при управлінні автомобільними двигунами і т.д.

Оскільки інформація, отримана від оператора, виражена словесно, для її використання в ПІ-регуляторах застосовують лінгвістичні змінні і апарат теорії нечітких множин, який був розроблений Л. Заде в 1965 році. Основна ідея цієї теорії складається з наступного. Якщо в теорії нечітких множин деякий елемент (наприклад, температура 50°C) може належати множині (наприклад, множині «температура гарячої води $T_{\text{гар}}$ ») або не належить їй, то в теорії нечітких множин вводиться поняття функції належності, яка характеризує ступінь належності елемента множині. При цьому говорять, наприклад, «температура 50°C належить множині $T_{\text{гар}}$ зі ступенем належності 0,264». Функцію належності можна наближено трактувати як ймовірність того, що даний елемент належить множині, однак така інтерпретація, хоча і являється для інженерів більш зрозумілою, не являється математично строгою, оскільки існуюча теорія нечітких множин не оперує поняттям ймовірності.

Нечітка логіка в ПІД чи ПІ-регуляторах використовується переважно двома шляхами: для побудови самого регулятора і для організації підлаштування коефіцієнтів ПІ- чи ПІД регулятора. Обидва шляхи можуть бути використані в контролері одночасно.

Одна з найбільш розповсюджених структур нечіткого регулятора (нечіткого ПІ-регулятора) показана на рис. 1. На вхід регулятора надходить помилка e і розраховується її похідна за часом $\frac{de}{dt}$. Далі обидві величини спочатку піддаються операції фазифікації (перетворення в нечіткі змінні), потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткого виводу для отримання управляючої дії на об'єкт, яка після операції дефазифікації (оберненого перетворення нечітких змінних в чіткі) надходить на вихід регулятора в вигляді управляючої дії u .

Для застосування методів нечіткої логіки перш за все необхідно перетворити звичайні нечіткі змінні в нечіткі. Процес такого перетворення називається фазифікацією (з англійської «fuzzy» - «нечіткий»). Він ілюструється на рис. 2. Діапазон зміни змінної e розбивається на множини (підмножини) NL, NM, NS, Z, PS, PM, PL, в межах кожної з яких будується функція належності змінної e кожній з множин. На

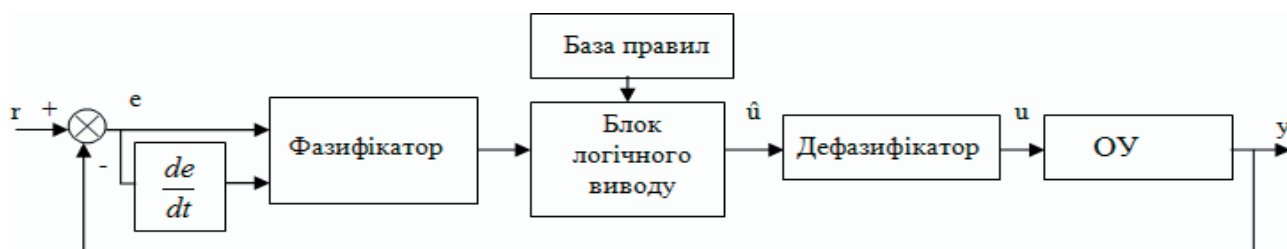


Рис. 1. Структура нечіткого ПІ-регулятора

рис. 2. функції належності мають трикутну (найбільш розповсюджену) форму, хоча в загальному випадку вони можуть бути будь-якими, виходячи зі змісту задачі, що вирішується. Кількість множин

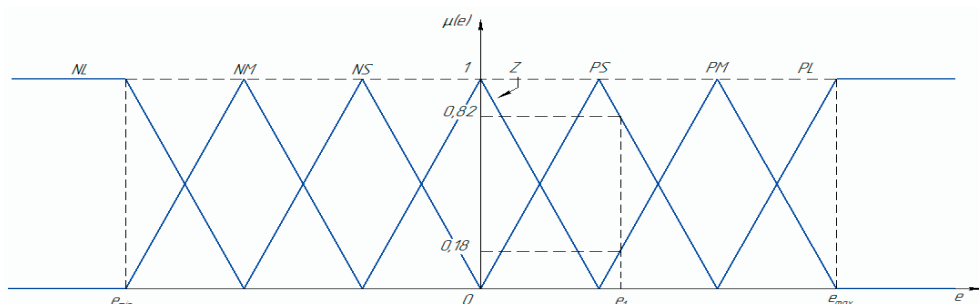


Рис. 2. Ділення області зміни змінної e на множини NL, NM, NS і т.д. з функціями належності $\mu(5)$ трикутної форми

також може бути довільним.

Для нечітких множин існує загальноприйнята система позначень: N – від’ємний (Negative); Z – нулевий (Zero); P – додатний (Positive); до цих позначень додають букви S (малий, Small), M (середній, Medium), L (великий, Large). Наприклад, NL – від’ємний великий; NM – від’ємний середній (Negative Medium); PL – додатний великий. Кількість таких змінних (термів) може бути будь-яким, однак зі збільшенням їх кількості суттєво зростають вимоги до формулювання правил для всіх комбінацій вхідних змінних.

Якщо величина помилки e на вході нечіткого регулятора (рис. 1) рівна e_1 (див. рис. 2), то відповідне значення нечіткої змінної буде рівне PS зі ступенем належності підмножині PS, рівне $\mu(e_1)=0,82$, або рівне PM, зі ступенем належності $\mu(e_1)=0,18$. Степінь належності помилки e_1 іншим множинам (Z, PL, NS і ін.) рівна нулю. Таким чином, величина помилки e_1 виявилась перетвореною в нечіткі змінні.

Для виконання функції регулювання над нечіткими змінними повинні бути виконані операції, побудовані на основі даних оператора, сформованих в вигляді нечітких правил. Сукупність нечітких правил і нечітких змінних використовується для здійснення нечіткого логічного виводу, результатом якого являється управляюча дія на об’єкт управління (див. рис. 1).

Нечіткий вивід виконується наступним чином. Припустимо, що область зміни помилки e розділена на множини N, Z, P, область зміни управляючої дії – на множини NL, NM, Z, PM, PL і що з допомогою досвіду роботи з об’єктом вдалося сформулювати наступні правила роботи регулятора:

Правило 1: якщо $e = N$ і $\frac{de}{dt} = P$, то $u^* = Z$

Правило 2: якщо $e = N$ і $\frac{de}{dt} = Z$, то $u^* = NM$

Правило 3: якщо $e = N$ і $\frac{de}{dt} = N$, то $u^* = NL$

Правило 4: якщо $e = Z$ і $\frac{de}{dt} = P$, то $u^* = PM$

Правило 5: якщо $e = Z$ і $\frac{de}{dt} = Z$, то $u^* = Z$

Правило 6: якщо $e = Z$ і $\frac{de}{dt} = N$, то $u^* = NM$

Правило 7: якщо $e = P$ і $\frac{de}{dt} = P$, то $u^* = PL$

Правило 8:

якщо $e = P$ і $\frac{de}{dt} = Z$,

то $u^* = PM$

Правило 9:

якщо $e = P$ і $\frac{de}{dt} = N$,

то $u^* = Z$.

Приведені правила часто записують в більш компактній табличній формі. Використовуючи правила, можна отримати значення управляючої змінної u^* на виході нечіткого регулятора. Для цього потрібно знайти функцію належності змінної u^* множині, утвореній в результаті виконання операцій виводу над множинами, які входять в систему правил.

Розглянемо автоматичну систему регулювання в системах вентиляції на основі нечіткої логіки.

Система вимірює температуру в приміщенні і автоматично вибирає режим роботи. Вибір базується на практичному аналізі – за еталон беруться стандартні уподобання людей, які користуються системою. Величини D_n (індекси дискомфорту) відображають рівні різних факторів, від значень яких залежить комфорт людини: температура, вологість, інтенсивність повітряних потоків, тип одягу (літня/зимово) і т.д.

Приведемо приклад врахування дії вологості на стан людини. Відчуття теплоти чи прохолоди являється наслідком не тільки температури повітря, але і його вологості.

Температура повітря 26°C і вологість 50-60% рахуються комфортними влітку, тоді як температура 22°C буде комфортною взимку. Однак навіть температура 29°C буде знаходитися в зоні комфортності, якщо вологість складає 50%, тоді як ця ж температура при вологості 70% буде здаватися високою і викликати відчуття «паркості».

Для оцінки спільного впливу температури і вологості на відчуття дискомфорту введений індекс:

$D_n = 0,72(t_c + t_{вл}) + 40,6$, де t_c – температура сухого термометра; $t_{вл}$ – температура вологого термометра.

Розглянемо принцип управління холодопродуктивністю системи кондиціювання повітря з використанням нечіткої логіки.

Холодопродуктивність, яку повинна забезпечити система кондиціювання, визначається різницею між температурою в приміщенні і температурою, яку ми хотіли б отримати (температура встановлення). Ця змінна лінгвістично може бути сформульована як «різниця температур» і приймати значення «мала», «середня», «велика». Чим більша різниця температур

в даний момент, тим повинна бути більша холодопродуктивність.

Таблиця 1

Таблиця ступеню дискомфорту

Індекс дискомфорту D_n	Ступінь дискомфорту
70 чи менше	Комфортно
70-75	Деякі люди відчувають себе некомфортно
75-80	50% людей відчувають себе некомфортно
80-85	Всі відчувають себе комфортно
86 і більше	Нестерпний дискомфорт

Другою лінгвістичною змінною визначимо «швидкість зміни температури» в приміщенні, яка буде приймати значення «мала», «середня» і «велика». Якщо швидкість зміни температури велика, то потрібна більша холодопродуктивність.

По мірі наближення температури повітря в приміщенні до температури встановлення швидкість зміни температури в приміщенні буде зменшуватися, а холодопродуктивність системи кондиціонування знижуватися.

Холодопродуктивність являється вихідною змінною, якій присвоюються наступні терми: «дуже мала», «мала», «середня» і «дуже велика».

Зв'язок між входом і виходом занесемо в таблицю нечітких правил.

Таблиця 2

Залежність холодопродуктивності від різниці температур і швидкості її зміни

Швидкість зміни температури	Різниця температур		
	мала	середня	велика
мала	дуже мала	мала	середня
середня	мала	середня	велика
велика	середня	велика	дуже велика

Кожний запис відповідає своєму нечіткому правилу. Наприклад, якщо різниця температури середня, а швидкість зміни велика, то холодопродуктивність повинна бути велика.

Система кондиціонування повітря з нечіткою логікою працює наступним чином: сигнали від датчиків будуть фазифіковані, оброблені, дефазифіковані і отриманні дані в вигляді сигналів надійдуть на частотний двигун компресора, швидкість обертів якого (а, відповідно, і продуктивність) будуть змінюватися в відповідності зі значенням функції належності.

Побудуємо дві функції належності. В одному випадку аргументом являється різниця температур (Δt) (рис. 3), а в другому – швидкість зміни температури (V_t) (рис. 4). Для першої функції діапазон температур являється від 0 до 30°C для другої від 0 до 0,3°C/хв.

Результат спільного впливу двох функцій належності $M_z = f[M(\Delta t), M(V_t)]$ на значення вихідно-

го параметра «холодопродуктивність» визначається відповідною програмою, яка закладена в логічний пристрій.

Враховуючи, що холодопродуктивність пропорційна частоті обертів компресора, можна побудувати залежність результуючої функції належності M_z від частоти обертів компресора, надавши лінгвістичним термам швидкість руху компресора з рангом 1 наступне значення (рис. 5): мала – 37 Гц; середня – 62 Гц; велика – 87 Гц; дуже велика – 115 Гц.

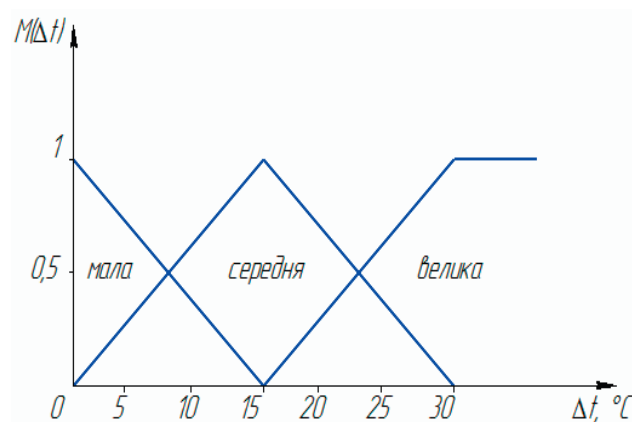


Рис. 3. Функція належності для лінгвістичного аргументу «різниця температур»

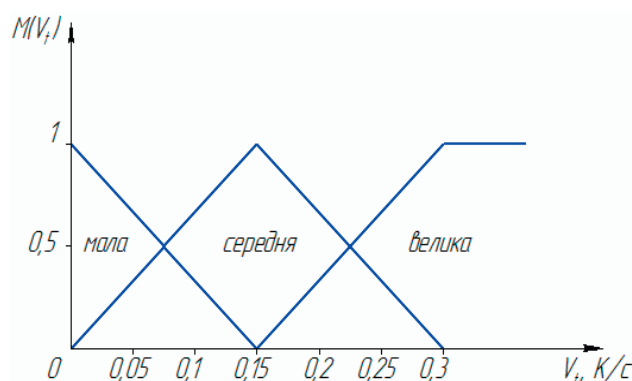


Рис. 4. Функція належності для лінгвістичного аргументу «швидкість зміни температури»

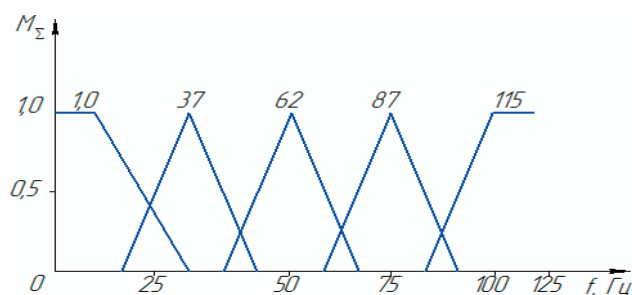


Рис. 5. Залежність параметра «частота обертів компресора» від значення сумарної функції належності

Таким чином, знайшовши лінгвістичним методом сумарну функцію належності, після дефазифікації

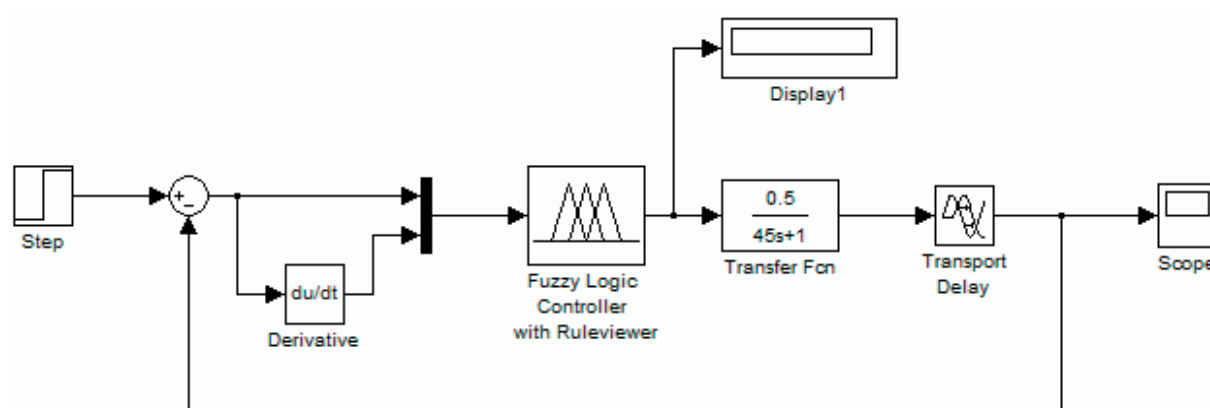


Рис. 6. Блок-схема адаптивної САУ

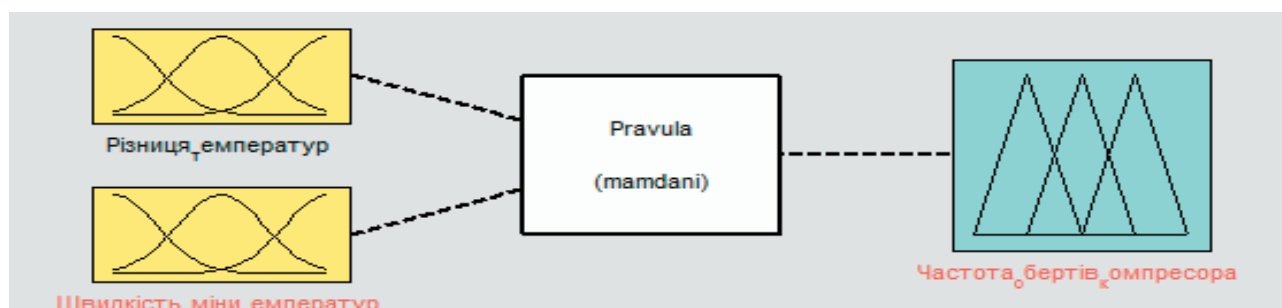


Рис. 7. Блок-схема функцій належності

можна перейти до чіткого значення вихідного параметра – частоти обертів компресора чи холодопродуктивності.

Змодельюємо дану систему в середовищі Matlab.

Передавальна функція об'єкта управління:

$$W_{oy}(s) = \frac{0.5}{45s+1} \cdot e^{-22s}$$

На рис. 8. показані перехідні процеси. Кривій 1 – відповідає контур адаптації з нечітким ПІ регулятором, а кривій 2 – з класичним ПІ-регулятором. Показники якості перехідного процесу зведемо в табл. 3.

Таблиця 3

Показники якості перехідних процесів

	Класичний ПІ-регулятор	Нечіткий ПІ-регулятор
Статична помилка	0	0
Степінь згасання	93,7%	1
Час регулювання	184с	132с
Перерегулювання	17,5%	6%

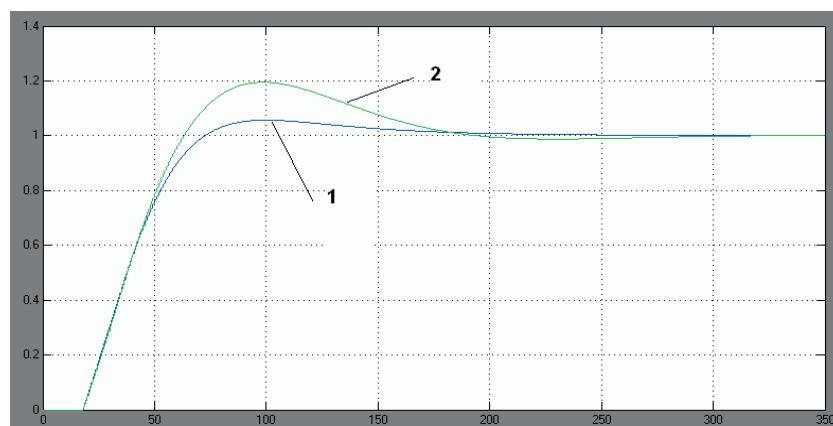


Рис. 8. Перехідні процеси в контурі управління з адаптивним нечітким та класичним ПІ-регуляторами

Припустимо, що в результаті нестационарних збурень коефіцієнти передавальної функції об'єкта управління змінилися наступним чином:

$$W_{oy}(s) = \frac{1.5}{135s+1} \cdot e^{-22s}$$

При відомих налаштуваннях класичного ПІ-регулятора, перехідний процес зі зміненими коефіцієнтами передавальної функції об'єкта має 48% перерегулювання, що є не припустимим (рис. 9). Показники якості перехідних процесів наведено у табл. 4.

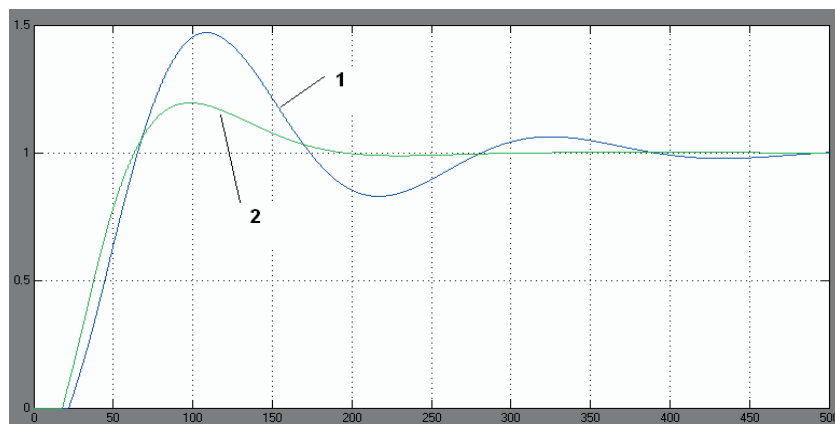


Рис. 9. Перехідні процеси в контурі управління з адаптивним нечітким та класичним ПІ-регуляторами (після зміни параметрів об'єкта управління)

Таблиця 4

Показники якості перехідних процесів (після зміни параметрів об'єкта управління)

	Класичний ПІ-регулятор	Нечіткий ПІ-регулятор
Статична помилка	0	0
Степінь згасання	87,5%	93,7%
Час регулювання	363с	178с
Перерегулювання	48%	15,3%

4. Висновки

Таким чином, управління системою кондиціювання з застосуванням адаптивних нечітких логічних регуляторів забезпечує:

- при зміні параметрів об'єкта в 3 рази кращі показники якості (в порівнянні з класичним ПІ-регулятором): менше значення перерегулювання (на 32%) та часу регулювання (на 185с);
- вибір оптимального (комфортного) розподілення і інтенсивності потоку повітря;
- зміну температури в відповідності з санітарними нормами (відсутність різкого перепаду температур в приміщенні, підтримання допустимої швидкості потоку повітря та ін.);
- зменшення витрат електроенергії на 20-40%.

Література

1. Бондар Ю. С. Передові технології в керуванні кондиціонерами /Холод, м+т. – 2004. - №4. – с. 38-39.
2. Гордиенко А. С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Киев, 2005. – 561 с.
3. Astrom K. J., Hagglund T. Advanced PID control. – ISA, 2006, - 460 p.